

混合変調レーザの高速変調特性に関する研究

著者	菅野 光成
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	184-185
発行年	2020-08-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/00129059

修士学位論文要約（令和2年3月）

混合変調レーザの高速変調特性に関する研究

菅野 光成

指導教員：八坂 洋

A Study on High-Speed Modulation Characteristics of Hybrid Modulation Laser

Mitsunari KANNO

Supervisor: Hiroshi YASAKA

Recently, internet traffic has been increasing explosively with the spread of digital communication devices and the data traffic capacity in data centers is required to increase drastically. To meet this demand, it is important to enlarge the operation speed of semiconductor lasers. In order to realize ultra-high speed semiconductor laser, our laboratory group has already proposed the hybrid modulation (HM) scheme. In this study, the high speed modulation characteristics of the hybrid laser are investigated. It is demonstrated experimentally that the modulation bandwidth is broadened up to 66 GHz by combining HM scheme and photon-photon resonance (PPR) effect. Furthermore, it is also demonstrated that frequency chirp of a semiconductor laser can be controlled with the hybrid modulation scheme.

1. はじめに

近年、デジタル通信デバイスの普及に伴ってインターネットトラフィックが爆発的に増加しており、特にデータセンタにおける通信容量の大容量化が急務である。小型、低消費電力という特徴を有し、現在データセンタにおけるトランスミッタ用光源として使用されている直接変調半導体レーザ(DML)の変調帯域幅は20 GHz程度にとどまっており、通信容量増大を実現するためにはDMLの高速化が望まれる。この課題の解決策として光子共鳴(photon-photon resonance: PPR)効果が注目されている[1]。外部共振器からの帰還光と半導体レーザの発振光との相互作用によって引き起こされるPPR効果を導入することで高周波領域の変調感度を向上させてDMLの変調帯域幅を100 GHzまで拡大させた例が報告されている[2]。しかし、PPR効果を導入する際には緩和振動周波数とPPR周波数間の中間周波数領域において変調感度が劣化することが課題であった。この課題を解決する手法として混合変調方式が注目されている[3]。変調特性を制御することができる混合変調方式と高周波数領域の変調感度を向上できるPPR効果を組み合わせることで変調帯域幅の大幅な拡大が可能であることが数値解析を通して明らかにされている[4]。しかし、混合変調半導体レーザの諸特性は未だに明らかになっていないことが多く、これを解明することは重要である。そこで本研究では、混合変調レーザの高速変調特性を解明することを目的とした。

2. 混合変調レーザの動作原理

図1に混合変調レーザの概略図を示す。混合変調

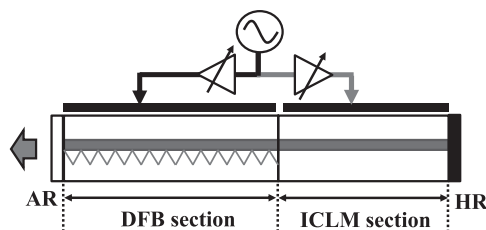


図1 混合変調レーザの概略図

レーザは分布帰還型(distributed feedback: DFB)活性領域と共振器内部損失変調(intra-cavity loss modulation: ICLM)領域で構成されており、ICLM領域は外部共振器としても機能するのでPPR効果を導入できる。両領域は独立に変調することができ、直接電流変調方式で動作するDFB活性領域は注入変調電流、電界吸収型導波路で構成され、損失変調方式で動作するICLM領域は印加変調電圧によってそれぞれ変調される。この混合変調レーザの変調特性はそれぞれの領域に入力される変調信号の変調度を変化させることによって制御できる。そこで、両変調の変調比率を η というシンボルで表現し、変調特性の η 依存性を評価した。

3. 混合変調レーザの変調帯域特性

まず、混合変調レーザの周波数応答特性を測定した。試作した混合変調レーザのDFB活性領域とICLM領域の長さはそれぞれ375 μm と220 μm に設定した。DFB活性領域への注入電流とICLM領域への印加バイアス電圧はそれぞれ $I = 120 \text{ mA}$

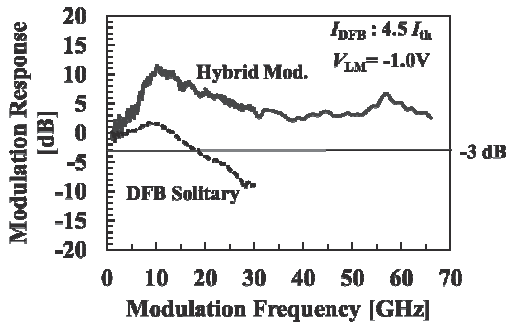


図 2 混合変調レーザ周波数応答特性測定結果
実線：混合変調方式動作時
点線：直接電流変調方式動作時

($4.5 I_{th}$)、 $V_{LM} = -1.0 \text{ V}$ とした。素子の CR 時定数に依らない素子本来の応答特性を評価するために、波長 $1.48 \mu\text{m}$ の強度変調光を外部から入力することで混合変調レーザを変調した。入力した強度変調光は DFB 活性領域と ICLM 領域で吸収されるので、混合変調レーザ出力光スペクトルのサイドバンド強度を測定することで混合変調レーザの周波数応答特性を測定できる。図 2 に混合変調レーザの周波数応答特性測定結果を示す。直接電流変調方式での動作時(点線)では周波数応答帯域幅が 20 GHz 未満にとどまっている一方で混合変調方式での動作時(実線)では PPR 効果によって 66 GHz まで周波数応答帯域幅が拡大していることを確認でき、混合変調方式と PPR 効果を組み合わせることで周波数応答帯域幅が劇的に拡大することを実験的に明らかにした。

4. 混合変調レーザの周波数チャープ制御

次に混合変調レーザの周波数チャープ特性を調査した。混合変調レーザでは ICLM 領域を逆バイアス電圧で駆動しているため、DFB 活性領域で発生する周波数チャープと ICLM 領域で発生する周波数チャープがそれぞれ逆相で変化し、お互いを打ち消しあう。この特性を応用することで半導体レーザの周波数チャープを制御できると考えた。図 3 に時間 0 ns で立上るステップ信号を変調信号源とした際の混合変調レーザの周波数チャープ特性の変調比率 η 依存性計算結果を示す。直接電流変調方式が支配的な $\eta = -20 \text{ dB}$ では正の遷移チャープと正の断熱チャープが顕著である。しかし、変調比率 η の増加に伴って損失変調方式の効果が大きくなることで正の遷移チャープが弱まり、負の断熱チャープが顕著になっている。つまり、混合変調方式で動作させることで半導体レーザの周波数チャープを制御できることが確認できた。続いて、光ファイバ伝送特性を調査した。図 4 に SMF 20 km 伝送

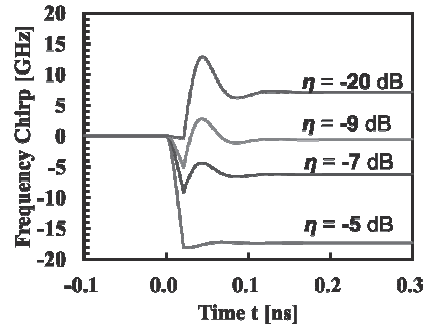


図 3 混合変調レーザの周波数チャープ特性計算結果(時間 0 ns でステップ信号入力)

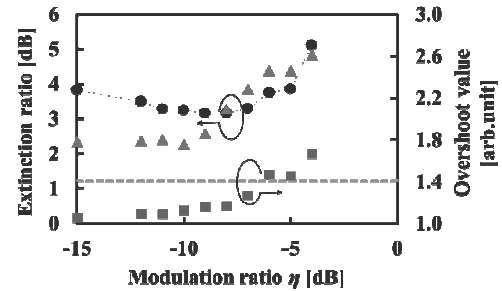


図 4 混合変調レーザの 20 km SMF 伝送後のアイパターン消光比計算結果

●:伝送前、▲:伝送後、■:オーバーシュート量

前後のアイパターン消光比計算結果を示す。変調比率 $\eta = -8 \sim -5 \text{ dB}$ に設定することで伝送後アイパターン消光比の減少を抑制できていることがわかる。さらにアイ波形の劣化によって生じ、伝送特性悪化の原因となるオーバーシュート量も基準値未満に抑制できていることも確認できる。つまり、混合変調レーザでは、変調比率 η を適切に設定することで光ファイバ伝送特性の向上が可能であることを確認できた[5]。

5. まとめ

本研究では、混合変調レーザの高速変調特性を調査した。数値解析と検証実験によって、混合変調方式と PPR 効果を組み合わせることで周波数応答帯域幅の拡大が可能であり、半導体レーザの周波数チャープを制御可能であることが明らかとなった。

文献

- 1) M. Radzinunas et al., IEEE JSTQE. 13, 136 (2007).
- 2) S. Yamaoka et al., ECOC 2019. PDP.2.1 (2019).
- 3) S. Mieda et al., Opt. Exp. 24, 25824 (2016).
- 4) S. Mieda, Tohoku Univ. Doctoral thesis, (2013).
- 5) M. Kanno et al., IEICE Trans. Electron., E101-C(7), 561 (2018)